基于3D打印的肝胆脉管变异模拟训练联合MDT-PBL教学模式应用效果

黄 帅,杨 森,马艺民,徐 芃,侯卓凡,李 琦,张亚飞
郑州大学第一附属医院,郑州 450052

【摘要】目的 探讨基于3D打印的肝胆脉管变异模拟训练联合问题式学习的多学科诊疗(problem-based learning multidisciplinary diagnosis and treatment, MDT-PBL)教学模式的应用成效。**方法** 选取2023年4月至2025年5月在郑州大学第一附属医院实习的64名临床医学专业住培生为研究对象,按照实习时间分为对照组(33例,2023年4月至2024年4月)和研究组(31例,2024年5月至2025年5月),对照组采用常规教学模式,研究组采用基于3D打印的肝胆脉管变异模拟训练联合MDT-PBL教学模式,两组教学周期均为8周。实习结束后,比较两组住培生考核成绩、综合能力,评估两组住培生多学科协作能力及住培生对教学过程的教学满意度。**结果** 研究组的理论成绩、影像诊断能力成绩、手术操作技能成绩、学习兴趣、自学能力、临床病例解析能力、外科手术素养、团队协作能力、跨学科知识整合能力相较于对照组均更高($P<0.01$);进一步分析发现,研究组内入科理论基础薄弱的住培生,教学后其手术操作技能成绩为(92.40±1.67)分,高于对照组中的理论基础薄弱住培生(86.50±2.07)分,差异具有统计学意义($P<0.01$);研究组对教学满意率为93.55%,高于对照组72.73%($P<0.01$)。**结论** 基于3D打印的肝胆脉管变异模拟训练联合MDT-PBL教学模式可显著提高住培生的考核成绩、综合能力及多学科协作能力,提升教学满意度。

【关键词】肝胆脉管变异;手术模拟训练;问题式学习的多学科诊疗教学模式
【中图分类号】R-4;R657.3 **【文献标志码】**A **【文章编号】**1004-5287(2026)04-0551-07
【DOI】10.13566/j.cnki.cmet.cn61-1317/g4.202604018

Application effect of the teaching mode combining 3D printing-based simulation training for hepatic and biliary vascular variations with MDT-PBL

HUANG Shuai, YANG Sen, MA Yimin, XU Peng, HOU Zhuofan, LI Qi, ZHANG Yafei
The First Affiliated Hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou 450052, *China*

【Abstract】Objective To explore the application effect of the multidisciplinary diagnosis and treatment (problem-based learning multidisciplinary diagnosis and treatment, MDT-PBL) teaching mode combined with 3D printing-based simulation training for hepatic and biliary vascular variations. **Methods** A total of 64 resident trainees in Clinical Medicine who completed the internship at the First Affiliated Hospital of Zhengzhou University from April 2023 to May 2025 were selected as the research subjects and divided into the control group (33 cases, from April 2023 to April 2024) and the research group (31 cases, from May 2024 to May 2025). The control group adopted the conventional teaching method, while the research group adopted the MDT-PBL teaching model combined with 3D printing-based simulation training for hepatic and biliary vascular variations. Both groups had a teach-

基金项目:2024年河南省医学教育研究项目(WJLX2024047);2025年郑州大学教育教学改革研究与实践项目留学生教育专项(2025ZZUJGXM-LXS035)
收稿日期:2026-01-19
作者简介:黄帅,副主任医师,博士,研究方向为普外科疾病的基础与临床研究。
通信作者:张亚飞,主治医师,博士,研究方向为肝胆外科临床与教学研究。E-mail:740228223@qq.com

ing period of 8 weeks. After the internship, the assessment results and comprehensive abilities of the two groups were compared, and the multi-disciplinary collaboration ability of the two groups and the teaching satisfaction of the resident trainees with the teaching process were evaluated. **Results** The research group obtained significantly higher scores in theoretical knowledge, imaging diagnostics, operative skills, learning interest, self-directed learning, clinical case analysis, surgical literacy, teamwork, and interdisciplinary knowledge integration than the control group (all $P<0.01$). Further analysis revealed that among the resident trainees in the research group with weak theoretical foundation upon admission, their surgical operation skills scores after training were (92.40±1.67), which were higher than those of the trainees with weak theoretical foundation in the control group (86.50±2.07), and the differences were statistically significant ($P<0.01$). The satisfaction rate of the teaching group was 93.55%, which was higher than that of the control group (72.73%) ($P<0.01$). **Conclusion** The teaching mode combining 3D printing-based simulation training for hepatic and biliary vascular variations with MDT-PBL significantly improves assessment scores, comprehensive abilities, MDT competencies, and teaching satisfaction among resident trainees.

【Keywords】 hepatic and biliary vascular variations; surgical simulation training; multidisciplinary diagnosis and treatment teaching mode based on problem-based learning

肝胆外科临床教学中,脉管解剖结构复杂且变异率高,传统二维影像教学难以直观呈现空间关系,导致医学生对变异脉管的识别与手术规划能力不足,成为临床技能培养的瓶颈。当前教学研究证实,多学科诊疗(MDT)模式通过整合外科、影像科及肿瘤科协作,可强化住院医师规范化培训生(以下简称“住培生”)跨学科决策能力[1];新的技术不断被应用在肝胆外科教学中[2],而3D打印技术能将个体化的脉管变异形态转化为实体模型,显著提升解剖辨识度及手术模拟真实性[3]。然而,单一技术应用仍存在局限性:MDT讨论过程缺乏有利的可视化教具支撑,3D模型的应用则未充分结合多学科临床思维训练。王汉卿等[4]将3D打印技术与多学科联动教学模式相结合应用在骨科影像教学中,发现该教学模式可以激发住培生的学习兴趣,提高成绩,扩展思维。郑家雷等[5]的研究则显示,MDT模式联合PBL教学应用在肿瘤学规培中,能大幅度提升学员考试总成绩和自主学习的积极性,增强其制定肿瘤综合治疗方案的能力及对最新指南与进展的掌握运用能力,且未增加学员的学习、工作负担,显著提高住培生的教学满意度,具有广阔的临床推广前景。但目前该多轨道教学模式尚未在临床教学中广泛开展。本研究将问题式学习的多学科诊疗(MDT-PBL)与3D打印技术深度整合,构建多轨道教学模式:以肝胆脉管变异为核心,通过3D模型实现变异结构的实体化与可视化,并同步嵌入MDT协作流程,实现“解剖可视化—多学科决策—手术模拟”全链条训练。旨在验证该模式对住培生理论成绩、临床综合能力、多学科协作能力以及教学满意度的提升效果,为肝胆外科精准化教学提供新范式。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本研究以手术操作技能考核成绩作为主要结局指标进行样本量估算。设定常规教学成绩均值μ_1=88分,期望新教学模式能将评分提升5分,μ_2=93分(标准差δ=5.5),基于两独立样本均数比较的公式:$n=2\delta^2(\mu_\alpha+\mu_\beta)^2/(\mu_1-\mu_2)^2$,设双侧$\alpha$=0.05($\mu_\alpha$=1.96分),$\beta$=0.2($\mu_\beta$=0.842分),计算得每组样本量需不少于19例。考虑可能存在学员轮转、请假等20%左右的脱落率,每组样本量需不少于24例,最终本研究实际纳入对照组33例,研究组31例,总计64例,样本量满足统计学分析要求。

选取2023年4月至2025年5月在郑州大学第一附属医院(以下简称“本院”)实习的64名临床医学专业住培生为研究对象,按照实习时间分组,2023年4月至2024年4月期间于本院实习的住培生纳入对照组(33例),2024年5月至2025年5月期间于本院实习的住培生纳入研究组(31例)。对照组采用常规教学模式,研究组采用3D打印联合MDT-PBL教学模式。对照组与研究组的带教老师为同一批成员,所有住培生对本研究知情同意并签订同意书,所有住培生接受入科摸底理论考试。根据历年入科摸底成绩分布统计及教学组临床经验,将入科成绩低于80分的住培生界定为“基础薄弱”。纳入标准:首次参加肝胆外科临床实习;所有住培生均知情并自愿参与;均为临床医学硕士毕业生。排除标准:依从性差、未能完成培训或未参加考核者;无故旷课,迟到、早退次数达3次以上。本研究已通过医院伦理委员会审批。两组住培生一般资料具有可比性(均$P>0.05$)。如表1所示。

表1　一般资料比较

组别	性别(男/女)	年龄(岁)	上学年平均成绩(分)	基础薄弱住培生占比[n(%)]
研究组(n=31)	16/15	27.05±1.32	85.93±7.44	5(16.13)
对照组(n=33)	18/15	26.57±1.26	86.52±7.50	6(18.18)
χ^2/t	0.055*	1.488	0.308	0.047*
P	0.814	0.142	0.759	0.828
W		0.985	0.972	
P		0.421	0.185	
F		0.154	0.089	
P		0.696	0.768	

注：*为χ^2值。

1.2　方法

1.2.1　对照组

对照组采用常规教学模式，教学内容为大纲及教材，带教教师应用PPT、教学影像等工具向住培生讲授肝胆脉管的一般走行方式和分支方式，以及肝胆脉管的分支形态和走行方式的常见变异，并结合2个肝胆脉管常见变异的典型案例及手术录像系统讲解肝胆脉管变异的外科手术方案及细节。带教老师带领住培生进行肝胆脉管常见变异的外科手术方案书写，教学周期8周，每周4学时，总课时32学时。

1.2.2　研究组

研究组采用基于3D打印联合MDT-PBL教学模式(教学周期8周，每周4学时，总课时32学时)，内容包括教学质量控制、3D模型制作、课前准备、结合MDT-PBL教学四个方面。

(1)教学质量控制

对照组与研究组的带教老师为同一批成员，所有带教教师在教学开始前均接受了统一的标准化培训。培训内容涵盖MDT-PBL教学理念、3D打印模型的操作规范、标准化教案的使用以及统一的评分标准，以消除不同教师之间的教学偏差。同时设立教学督导小组，通过定期旁听MDT-PBL讨论课、抽查教学记录及学员反馈，对教学过程进行实时监控，针对教学中发现的问题进行反馈与修正，确保教学流程严格按照既定的标准化方案执行。

(2)3D模型制作

选择2个具有代表性的经伦理审查批准、数据完整的肝胆脉管常见变异典型案例，遵循标准化的工作流程，利用3D打印技术制作肝胆脉管变异模型，并形成《肝胆脉管变异3D教学模型制作标准化手册》。流程主要包括医学影像采集、三维重建、模型打印与后处理四个关键步骤[6]。①医学影像采集。操作规范：收集患者上腹部磁共振成像(MRI)数据(如动脉期、门静脉期等)，获取层厚为1.0～1.5 mm的薄层医学数字成像和通信(DICOM)格式图像数据。人员与设备：由放射科技师完成扫描；数据通过医院安全内网传输至三维重建工作站。质量控制：由放射科医师评估影像质量，确保目标脉管结构对比度清晰、无运动伪影。②三维重建。操作规范：将DICOM数据导入3D-DOCTOR专业三维重建软件，由技术人员采用数字化分割技术，在软件中逐层勾画并分离出肝胆脉管常见变异，软件生成三维可视化模型。关键环节包括：不同结构的色彩编码(如肝动脉标红、门静脉标蓝、胆管标绿)、模型平滑处理以减少阶梯伪影、生成可供3D打印机识别的STL格式文件。质量控制：重建后的三维可视化模型需由一名高年资放射科医生和一名肝胆外科医生共同审核，确保解剖结构的连续性与变异特征的准确性。③模型打印与后处理。操作规范：选用光固化3D打印机，使用不同颜色或透明度的光敏树脂材料进行打印，以区分不同解剖结构。为达到最佳教学效果，推荐采用多材料混合打印或分体打印后组装的方式，制作可拆解、内部管道可视的等大(1∶1)模型。打印完成后，需进行支撑去除、清洗、二次固化等后处理。增强可视化处理：对脉管等特定结构，可使用微量注射器灌注彩色染料(如红色代表动脉，蓝色代表静脉)进行显色；或通过灌注透明硅胶实现整个肝脏模型的透明化，使内部管道构型一目了然。质量控制：将最终打印模型的尺寸、形态与原始MRI三维重建图像进行直接比对，并由专家组(至少包含放射科及肝胆外科各一名副主任医师以上职称者)进行最终评估验收，签署《模型准确性确认书》。

(3)课前准备

带教老师课前准备好3D打印模型的完整病例，包括MRI数据、手术录像资料等发放给住培生，让住培生了解肝胆脉管变异的影像学表现、手术细节与流程。同时，带教老师提出引导性问题(如：影像学上提示什么变异？据此制定怎样手术方案？)。

(4)结合MDT-PBL教学

为增强教学流程的可复制性,本研究以“右前叶门静脉分支过早分叉变异合并肝细胞癌”为例,制定标准化MDT-PBL教学流程(总时长90 min)。

第一阶段:病例呈现与问题引导(15 min)。主持:肝胆外科带教老师。流程:住培生A组代表使用PPT汇报匿名化病例(包括病史、实验室检查、MRI图像及3D模型展示),并提出预设的PBL问题:a)根据影像学,门静脉右前支的变异属于哪种分型?对肝段划分有何影响?b)肿瘤与变异脉管的立体位置关系如何?c)基于此解剖变异,首选手术方案(解剖性肝切除范围)应如何规划?关键风险点是什么?

第二阶段:多学科顺序发言与讨论(45 min)。主持:带教老师(担任MDT讨论主席),负责控制时间与引导发言。a)影像科轨道(10 min):影像科带教老师或住培生B组代表解读MRI,明确变异分型,并描述肿瘤与变异门静脉分支的毗邻关系。b)肝胆外科轨道(20 min):住培生C组代表基于3D模型,阐述手术方案(如右前区肝段切除),并模拟手术入路、断肝平面规划及血管处理要点。其他住培生可质疑或补充。c)肿瘤科/介入科轨道(10 min):带教老师引导讨论:若患者不符合手术指征,替代治疗方案应如何调整以适应脉管变异?对预后有何潜在影响?d)麻醉科/护理轨道(5 min):带教老师简要提示术中血流动力学监测要点及术后护理注意事项。

第三阶段:意见整合与方案总结(20 min)。主持:带教老师。流程:带教老师整合各轨道意见,总结关键点:①变异解剖的确认;②达成的共识手术方案及备选方案;③手术关键步骤与风险控制清单;④术后管理要点。形成《MDT教学讨论记录表》,包括诊断、治疗建议、遗留问题及学习要点。住培生任务:简洁、准确地记录讨论核心内容。

第四阶段:反馈与方案优化(课后)。流程:MDT讨论后,住培生在带教老师指导下查阅文献指南和手术录像,结合MDT讨论意见,在一周内提交一份完善的、个性化的手术治疗方案书。带教老师进行批阅并组织简短反馈会。带教老师结合3D模型多角度展示脉管空间构型,解答手术难点,总结典型案例的重点内容。

1.3 观察指标

为最大限度减少考核过程中的主观偏倚,本研究严格执行教学与考核分离原则,由不参与带教、且不知晓分组评估的第三方在课程结束后统一进行考核。

(1)考核成绩

通过统一组织的试卷考试与模拟手术操作对两组住培生进行成绩评定。考核内容涵盖理论、影像诊断及手术操作技能三个部分,考核题目由教研组参考肝胆外科权威教科书[7],共同制定考核题目,统一组织试卷考试和模拟手术,成绩考核均按照统一的评分标准进行。理论成绩主要包括肝胆脉管的正常形态及常见的变异、影像学特征、制定手术方案,题型包括40道选择题(40分)、10道判断题(10分)、5个名词解释(20分)和4道问答题(30分),满分100分;影像诊断能力成绩含两个项目:影像阅片能力、常见变异诊断准确性,满分100分;手术操作技能成绩包括手术范围是否精准、手术流程是否准确、手术是否彻底、意外损伤是否控制最小,总分100分。

(2)综合能力

借助综合能力评价表对住培生的整体能力进行评定,该量表由教研组结合文献[8]和实际教学内容制定,正式施测前对该量表进行信度与效度检验,Cronbach's α系数为0.871,内容效度指数为0.920,具有良好的信效度。量表共设学习兴趣、自学能力、临床病例解析能力及外科手术素养4个维度,每维度采用1~10分评分制,得分越高表示综合能力越强。

(3)多学科协作能力

采用多学科协作能力表对住培生评估,量表由教研组参考相关团队协作理论构建。正式施测前对该量表进行预调查和信效度检验,Cronbach's α系数为0.854,内容效度指数为0.904,具有良好的信效度。该量表内容涵盖团队协作能力(1~10分)、跨学科知识整合能力(1~10分),得分越高说明多学科协作能力越突出。

(4)教学满意度

采用自制的调查问卷对两组住培生进行教学满意度评估。问卷包含教学方法、师生关系、教学资源、教学内容及教学质量5个方面,每项满分20分,总分为100分。分三个等级:≥90分,满意;[60,90)分,一般;<60分,不满意,满意率=(满意+一般)例数/总例数×100%。

1.4 统计学分析

数据采用SPSS 23.0软件分析,计量资料进行Shapiro-Wilk正态性检验和Levene方差齐性检验,符合正态分布且方差齐的计量资料以($\bar{x}\pm s$)表示,两组比较采用t检验,为控制多重比较带来的I类错误,采用Bonferroni法对P值进行校正,差异的临界值$\alpha'=\alpha/k$,$P<\alpha'$为有统计学意义;计数资料以[n(%)]表示,两组比较采用χ^2检验;以$P<0.05$为差异有统计学意义。

2　结果

2.1　考核成绩比较

研究组理论成绩、影像诊断能力成绩、手术操作技能成绩较对照组均更高，经Bonferroni校正后，差异有统计学意义（$P<0.017$），如表2所示。进一步分析发现，研究组内入科理论基础薄弱的住培生，教学后其手术操作技能成绩为（92.40±1.67）分，高于对照组中的理论基础薄弱住培生（86.50±2.07）分，差异具有统计学意义（$t=5.121$，$P=0.001$），由于基础薄弱亚组样本量较小，本次比较为探索性分析，其统计效能有限，结果仅供参考，不作为确证性结论。

表2　考核成绩比较

组别	理论成绩	影像诊断能力成绩	手术操作技能成绩	基础薄弱住培生手术操作技能成绩
研究组[$n=31$，($\bar{x}\pm s$)，分]	90.56±2.38	93.02±2.71	93.81±3.22	92.40±1.67
对照组[$n=33$，($\bar{x}\pm s$)，分]	87.44±2.15	88.63±3.49	85.36±3.73	86.50±2.07
t	5.509	5.595	9.673	5.121
P	<0.001	<0.001	<0.001	0.001
P(Bonferroni校正)	0.002	0.001	0.001	-
W	0.982	0.975	0.968	0.991
P	0.345	0.189	0.092	0.654
F	0.215	0.188	0.301	0.112
P	0.644	0.667	0.587	0.741

注：基础薄弱住培生为入科摸底理论考核成绩小于80分的学员；Bonferroni校正（$k=3$，$\alpha'=0.017$），$P<0.017$为差异有统计学意义。

2.2　综合能力比较

研究组学习兴趣、自学能力、临床病例解析能力、外科手术素养较对照组更高，经Bonferroni校正后，差异有统计学意义（$P<0.012\,5$），如表3所示。

表3　综合能力比较

组别	学习兴趣	自学能力	临床病例解析能力	外科手术素养
研究组[$n=31$，($\bar{x}\pm s$)，分]	8.89±1.04	8.25±1.32	8.72±1.05	9.17±0.83
对照组[$n=33$，($\bar{x}\pm s$)，分]	7.13±1.21	7.38±1.63	7.59±1.13	8.24±0.95
t	6.222	2.337	4.137	4.159
P	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
P(Bonferroni校正)	0.001	0.008	0.004	0.004
W	0.978	0.965	0.981	0.989
P	0.287	0.142	0.315	0.598
F	0.198	0.245	0.167	0.134
P	0.659	0.624	0.685	0.718

注：Bonferroni校正（$k=4$，$\alpha'=0.012\,5$），$P<0.012\,5$为差异有统计学意义。

2.3　多学科协作能力比较

研究组团队协作能力、跨学科知识整合能力评分较对照组均更高，经Bonferroni校正后，差异具有统计学意义（$P<0.025$），如表4所示。

表4　多学科协作能力比较

组别	团队协作能力	跨学科知识整合能力
研究组[$n=31$，($\bar{x}\pm s$)，分]	7.62±0.97	8.94±1.06
对照组[$n=33$，($\bar{x}\pm s$)，分]	5.85±0.91	6.57±1.28
t	7.532	8.039
P	<0.001	<0.001
P(Bonferroni校正)	0.001	0.001
W	0.985	0.973
P	0.412	0.198
F	0.176	0.221
P	0.678	0.641

注：Bonferroni校正（$k=2$，$\alpha'=0.025$），$P<0.025$为差异有统计学意义。

2.4　教学满意度比较

研究组教学满意率高于对照组（$P<0.05$），如表5所示。

表5　教学满意度比较

组别	满意	一般	不满意	满意率
研究组[n(%)]	18(58.07)	11(35.48)	2(6.45)	29(93.55)
对照组[n(%)]	16(48.48)	8(24.24)	9(27.27)	24(72.73)
χ^2				4.868
P				0.027

3　讨论

肝胆脉管变异是肝胆外科手术的解剖学基础，直接影响手术规划与操作路径设计，复杂手术（如活体肝移植、围肝门部肿瘤切除）需基于变异类型制定个体化方案，以避免血管/胆管误伤。尤其在肝移植手

术中，为尽量减少术中出血并发症和术后血栓形成，精确掌握肝动脉分支、其变异及肝内管道的精确解剖结构至关重要[9]。然而，肝胆脉管变异包含肝动脉、门静脉、肝静脉和胆管四套脉管系统，各系统类型众多、走行不一、变异率高，且不同脉管系统之间相互交错缠绕，解剖结构极为复杂。在传统的教科书联合CT/MRI二维影像教学中，住培生普遍反映其空间关系抽象，结构复杂，难以理解，导致学习效率低、效果差[10]。现有肝脏外科教学中虽也采用尸体标本及肝脏模具辅助教学，但尸体标本经一次解剖之后便无法再次使用，限制了学习机会；肝脏模具则往往缺乏肝胆脉管解剖细节，且无法准确反映解剖学变异，存在明显局限[11]。因此，探究3D打印联合MDT-PBL教学模式在肝胆脉管变异模拟训练中的教学效果和住培生接受程度，具有重要价值。

本研究结果显示，研究组在各项教学成绩方面均表现出显著优势。进一步分析发现，研究组内入科理论基础薄弱的住培生，教学后其手术操作技能成绩高于对照组中的理论基础薄弱住培生。这表明，3D打印联合MDT-PBL教学模式能普遍提升住培生的考核成绩，全面增强其综合能力，对于帮助基础薄弱的学员更具有特殊价值。此结论与田佳明等[12]的研究结论相一致。分析取得上述教学效果的原因。首先，3D打印技术提供了不可替代的具象化认知工具。3D打印技术可将CT/MRI等二维影像数据转化为等比例的三维立体模型，实现360度全方位展示肝胆脉管的空间结构[13-14]。这种直观、立体的呈现方式，使住培生更容易掌握肝胆脉管的常见变异，深刻理解其类型、位置、空间结构。这种深刻认知直接提升了住培生诊断肝胆脉管变异的能力，并有助于住培生结合具体变异制定个性化的手术治疗方案，从而有效控制手术风险，降低术中损伤脉管系统及术后并发症的发生率[15]。其次，MDT-PBL教学模式构建了高效的临床思维训练场。该教学模式通过PBL案例讨论，有效促进了跨学科知识整合，加强了住培生的临床病例解析能力；在专家引导下进行MDT讨论并制定方案的过程，则帮助住培生熟悉并掌握了规范的临床决策流程，显著提升了其临床思维水平和外科手术素养能力[16]。此外，教学案例与真实临床场景的无缝衔接，也极大地激发了住培生的学习兴趣和自主学习能力。

本研究表明3D打印联合MDT-PBL教学模式可提高研究组住培生的多学科协作能力。史记等[17]研究发现，MDT联合PBL教学应用在神经系统肿瘤临床教学中，不仅提升了住院医师理论与实践能力，还显著提高了团队协作能力、理论结合实践能力和教学满意度，这与本研究结果相呼应。分析其原因：在研究组教学中，住培生通过课堂授课知识输入、课后内化吸收两个环节，结合课上老师的提问，能够结合案例和3D模型深入分析病变特征，从而巩固所学并明确知识盲点[18]。随后，在MDT讨论环节，住培生与影像科、肿瘤科、肝胆外科等多学科专家共同讨论案例，聆听专家对重难点的剖析，此过程自然地促进了住培生对多学科知识的理解、融合与应用[19]。最后，在基于3D模型模拟训练中，住培生凭借前期积累的知识，结合现场带教老师的指导，在实践中潜移默化地锻炼和提升了团队协作能力。本研究还发现研究组的教学满意率更高，提示该教学模式高度契合住培生的实际需求，在提升成绩和综合能力的同时，也显著提高了其对教学的满意程度。

然而，本研究存在若干局限性。除未能采集技能基线数据、样本量有限等研究设计上的固有约束外，研究分组采用“按实习时间”而非随机化方法，存在选择偏倚风险。此外，该3D打印教学模式在实践中的推广仍面临一定瓶颈：一是较高的实施成本，这主要源于为实现肝脏管道系统高仿真度与教学可视化所必需的多材料分体打印、染料灌注及复杂后处理工艺；二是操作流程的标准化不足，尤其在模型后处理、专家评估验收等关键环节依赖个人经验，影响了不同批次间的一致性与可重复性。为提升该模式的推广价值，未来可着力于以下优化：在成本控制方面，可探索采用区域性3D打印资源共享中心以摊薄单次使用成本；在标准化建设方面，需制定涵盖从影像分割、打印精度到后处理与验收的全流程质控标准，并开发配套的标准化教案与技能评估清单，从而系统性保障教学质量的稳定与可复制性。在研究设计方面，未来应采用随机化分组方法，以有效降低选择偏倚风险，进一步提升研究证据的可信度。

综上所述，在肝胆脉管模拟训练中，联合应用3D打印技术与MDT-PBL教学模式具有显著成效。该模式不仅能够提升住培生的考核成绩与综合能力，特别是在外科手术操作方面掌握得更为扎实，同时也有助于培养其多学科协作意识，显著改善学习成效与教学满意度。因此，这一教学模式在肝胆外科实际教学中具有较高的推广应用价值。然而，本研究采用按实习时间先后划分组别，属于历史对照而非随机对照设计，其结论可能受到教学环境变化、带教经验积累等混杂因素的影响，未来研究考虑采用多中心随机对照

研究，以进一步控制偏倚，增强证据强度。针对基础薄弱学员等亚组的分析样本量不足，也增加了I类错误（假阳性）的风险，其结论仅为探索性发现，未来的研究需要专门针对这一高风险群体设计大样本的随机对照试验，以进一步验证该教学模式的针对性优势。

参考文献

[1] Wei J W, Fang X J, Qiao J, et al. Construction on teaching quality evaluation indicator system of multidisciplinary team (MDT) clinical nursing practice in China: A Delphi study[J]. Nurse Education in Practice, 2022, 64: 103452.

[2] 游逾，袁靳闲. 达芬奇机器人手术系统模拟训练器在肝胆外科教学中的应用研究[J]. 中华医学教育探索杂志，2024，23(5): 671-676.

[3] Tarca A, Woo N, Bain S, et al. 3D printed cardiac models as an adjunct to traditional teaching of anatomy in congenital heart disease: A randomised controlled study[J]. Heart, Lung and Circulation, 2023, 32(12): 1443-1450.

[4] 王汉卿，田佳明，刘明普，等. 3D打印技术融合多学科联动教学模式在骨科影像教学中的研究[J]. 黑龙江医药科学，2024，47(5): 13-15.

[5] 郑家雷，莫缓缓，方向，等. MDT模式下PBL教学在肿瘤学规培中的效果分析[J]. 淮海医药，2022，40(4): 431-433.

[6] 张韩静，刘俊杰，陈文康，等. 3D数字模型系统辅助CBL教学法在肝胆外科临床教学中的应用[J]. 医学教育管理，2022，8(4): 442-446.

[7] 詹姆斯·加登. 肝胆胰外科学[M]. 全志伟，王健东，译. 北京：北京大学医学出版社，2017.

[8] 赵甦，傅聿铭，李晓勇，等. 腹腔镜技术融合多学科诊疗教学法在全科住院医师规范化培训中的应用[J]. 中华全科医师杂志，2021，20(9): 1020-1023.

[9] Malviya K K, Verma A. Importance of anatomical variation of the hepatic artery for complicated liver and pancreatic surgeries: A review emphasizing origin and branching [J]. Diagnostics , 2023, 13(7): 1233.

[10] 闫加艳，郭德镇，陈霏雨，等. 三维可视化技术在肝胆外科临床解剖教学中的应用研究[J]. 中国临床医学，2020，27(6): 1026-1031.

[11] 卢斌，倪晨明，马洪运，等. 3D打印技术在肝胆外科教学中的应用[J]. 医学教育管理，2023，9(2): 206-211.

[12] 田佳明，刘明普，杨宇，等. 3D打印技术融合多学科联动教学模式在“医学影像学”中的应用[J]. 中国继续医学教育，2024，16(15): 1-5.

[13] Li W H, Liu Z Y, Tang F W, et al. Application of 3D bioprinting in liver diseases[J]. Micromachines, 2023, 14(8): 1648.

[14] Rojo R D, Ramírez Z G, Soler L M, et al. Creation of three-dimensional anatomical vascular and biliary models for the study of the feline liver (*Felis silvestris catus* L.): A comparative CT, volume rendering (vr), cast and 3D printing study[J]. Animals, 2023, 13(10): 1573.

[15] 王国宾，李钊，王明明，等. 3D打印技术在手术治疗复杂肩胛骨骨折中的应用[J]. 中华创伤骨科杂志，2025，27(2): 163-168.

[16] 马鹏程，陈景涛，路回正，等. 基于全程管理理念的MDT治疗肝细胞癌合并门静脉癌栓的经验体会[J]. 肝胆胰外科杂志，2025，37(4): 259-261.

[17] 史记，姚冰，孙佩欣，等. MDT联合PBL教学在神经系统肿瘤临床教学中的应用[J]. 中国病案，2023，24(10): 84-88.

[18] 周瑜，李满，陈辰，等. 三维重建结合供肝修整技术在肝脏解剖教学中的应用[J]. 中国继续医学教育，2023，15(21): 150-154.

[19] 郑博文，闫昱文，刘奕. MDT模式在口腔正畸研究生教学中的应用[J]. 中国高等医学教育，2025(1): 145-146.